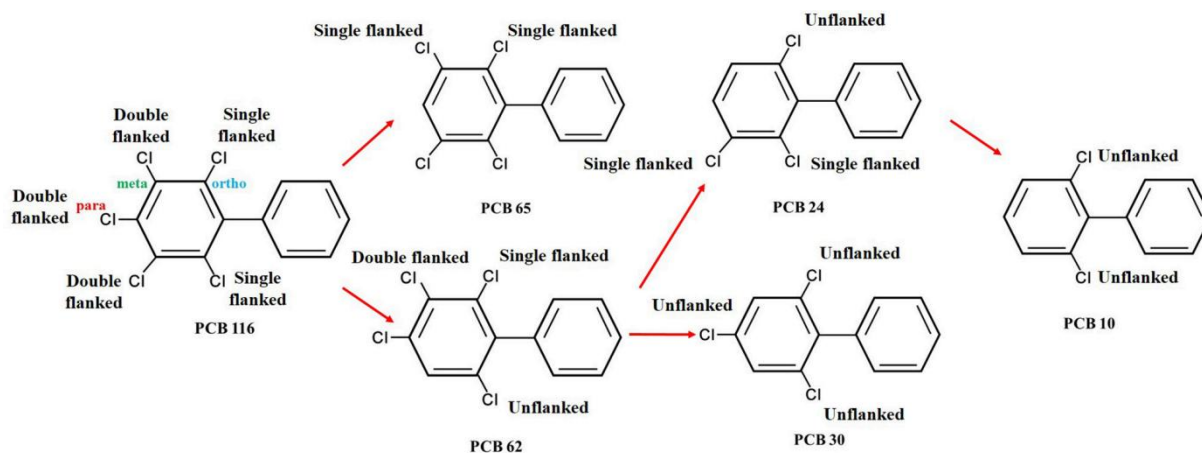




Riadenie POPs rizík v kontexte prechodu na udržateľnú bioekonomiku (akronym: POPs_RISKMANbase)

Príloha KPB2 D2.6

Názov a označenie správy:	D2.6	Správa o výsledkoch pracovného balíka 2 pre verejnosť		
Pracovný balík	KPB2			
Zodpovedný riešiteľ:	TOMARK	Pracovisko:	Strojnícka 5, 080 01 Prešov	
Termín dodania výstupu	M27	Dátum dodania:	Marec, 2026	
Odsúhlasenie výstupu:	TOMARK	Meno:	Daniel Tomko Ján Matejčík	
	R-DAS	Meno:	Libor Majer	
	TUKE	Meno:	Hana Pačaiová Michal Hovanec	
Verzia:	I.	Dátum zmeny:		
Typ výstupu (správa):	verejná	záverečná	priebežná	Iná
	x			



Riešiteľský kolektív:

Ján Matejčík, Slavomír Dobrovič, Matúš Šelleng, Maroš Olšovský, Róbert Jánošík (konzultant), Renáta Turisová (konzultant), Mariana Danková (konzultant), Hana Pačaiová, Michal Hovanec, Mária Gamcová, Miroslav Badida, Lýdia Sobotová, Marcel Behún, Annamária Behúnová, Pavol Kurdel, Peter Hanák, Štefan Kandráč, Ivana Koláriková, Volodymyr Tymofiiv, Samer Al-Rabeei, Maroš Divok (konzultant), Branislav Rácek, Libor Majer, Lucia Majerová, Marcel Baláž, Ondrej Kachman, Gábor Gyepes, Dominika Babirádová, Lukáš Doubravský, Dušan Homola, Ján Hudec, Ján Kulháný, Lívia Líšková, Martin Melicher, Matej Uram



Obsah

Úvod	4
1. Cieľ pracovného balíka	5
2. Realizované aktivity.....	6
3. Dosiahnuté výsledky.....	7
3.1 Prehľad splnenia výstupov KPB2	8
4. Prínos pracovného balíka	9
5. Súlad s politikami a strategickými prioritami	10
6. Spoločenský a environmentálny prínos	11
7. Perspektívy ďalšieho riešenia	12
Záver	13
Príloha: Verejná infografika k výsledkom KPB2.....	1

Úvod

Projekt Riadenie POPs rizík v kontexte prechodu na udržateľnú bioekonomiku je zameraný na výskum, posúdenie a podporu riadenia environmentálnych rizík spojených s perzistentnými organickými polutantmi, najmä polychlóvanými bifenyli (PCB). PCB predstavujú dlhodobý environmentálny problém vzhľadom na svoju perzistenciu, schopnosť bioakumulácie, väzbu na sedimenty, pôdu a organickú hmotu, ako aj možnosť sekundárneho šírenia v životnom prostredí.

Pracovný balík KPB2 nadväzuje na analytické a metodické výstupy KPB1, v ktorých boli identifikované zdroje kontaminácie, transportné cesty, receptory a kritické scenáre spojené s výskytom PCB. V rámci KPB2 boli tieto poznatky rozpracované do podoby merateľného, dátovo spracovateľného a modelovo využiteľného rámca, ktorý umožňuje hodnotiť POPs/PCB riziká v priestore a čase.

Ťažiskom pracovného balíka bolo spracovanie výstupov zameraných na analýzu metód merania PCB, návrh meracieho reťazca, zber a správu údajov, modelovanie a charakterizáciu rizík, spracovanie údajov v prostredí GIS a návrh koncepcie metodiky riadenia rizík. Osobitná pozornosť bola venovaná monitorovaniu PCB v ovzduší, keďže vzdušná transportná cesta môže predstavovať významný mechanizmus sekundárneho šírenia kontaminácie z historických environmentálnych záťaží.

Výsledky pracovného balíka KPB2 vytvárajú prepojenie medzi metodikou merania PCB, dátovou správou, GIS spracovaním a modelovým posúdením rizika. Takto pripravený rámec umožňuje postupne spresňovať rizikové mapy, overovať význam jednotlivých transportných ciest a podporovať rozhodovanie o prioritách monitorovania a opatrení.

1. Cieľ pracovného balíka

Cieľom pracovného balíka KPB2 bolo rozpracovať analytické výstupy KPB1 do prakticky využiteľného rámca pre monitorovanie, spracovanie údajov, modelovanie a podporu riadenia POPs/PCB rizík. Pracovný balík sa preto zameriaval na vytvorenie podmienok, ktoré umožnia prepájať merané údaje z environmentálnych zložiek s GIS spracovaním, modelovým hodnotením rizika a následným rozhodovaním o prioritách monitorovania a opatrení.

KPB2 bol orientovaný najmä na:

- analýzu vybraných metód a postupov merania PCB vo vode, sedimentoch, pôde a ovzduší,
- návrh meracieho reťazca od odberu vzorky po laboratórne stanovenie a interpretáciu výsledkov,
- posúdenie možností mobilného, leteckého alebo UAS odberu vzoriek ovzdušia,
- návrh systému zberu, evidencie, správy a kontroly kvality údajov,
- vytvorenie modelového rámca pre charakterizáciu POPs/PCB rizík,
- prepojenie modelového hodnotenia s GIS databázou a priestorovou analýzou,
- návrh koncepcie metodiky riadenia rizík založenej na meraných, priestorových a modelových údajoch.

Výstupy KPB2 tak vytvárajú základ pre praktické využitie modelu PCBRISKMAN pri monitorovaní, aktualizácii rizikových máp, identifikácii prioritných lokalít a podpore rozhodovania v dotknutých územiach.

2. Realizované aktivity

Aktivity pracovného balíka KPB2 boli zamerané na rozpracovanie analytických výsledkov KPB1 do prakticky využiteľného rámca, ktorý umožňuje získavať, spracovávať a interpretovať údaje potrebné pre hodnotenie rizík PCB.

V rámci pracovného balíka boli realizované najmä tieto aktivity:

- analýza dostupných laboratórnych, terénnych a monitorovacích metód využiteľných pri stanovení PCB vo vode, sedimentoch, pôde a ovzduší,
- návrh meracieho reťazca od odberu vzorky cez jej transport, uchovanie, predúpravu, extrakciu, čistenie extraktu, analytické stanovenie až po interpretáciu výsledkov,
- posúdenie možností monitorovania PCB v ovzduší s dôrazom na rozlíšenie plynnej a časticovo viazanej frakcie,
- analýza technických, bezpečnostných a prevádzkových obmedzení pri využití leteckej alebo UAS platformy na odber vzoriek ovzdušia,
- návrh dátovej štruktúry pre zber, správu a spracovanie údajov potrebných pre modelovanie a GIS analýzy,
- definovanie požiadaviek na kvalitu údajov, reprezentatívnosť odberu, lokalizáciu vzoriek a evidenciu meteorologických podmienok,
- návrh modelového rámca PCBRISKMAN založeného na väzbe zdroj – transportná cesta – receptor (S-P-R),
- rozpracovanie dynamických modelových parametrov, najmä pravdepodobnosti ohrozenia, chronickejšnosti environmentálnych rezervoárov a faktora mobilizácie,
- návrh využitia GIS nástrojov pri spracovaní priestorových, atribútových a časových údajov,
- návrh koncepcie metodiky riadenia rizík, ktorá prepája meranie, modelovanie, GIS spracovanie a rozhodovanie o opatreniach.

Pri riešení boli využité interdisciplinárne prístupy prepájajúce environmentálne inžinierstvo, manažérstvo rizík, analytickú chémiu, modelovanie transportu kontaminantov, GIS analýzy, letecké technológie a podporu rozhodovania.

3. Dosiahnuté výsledky

V rámci pracovného balíka KPB2 boli spracované čiastkové výstupy D2.1 až D2.5, ktoré na seba metodicky nadväzujú a spoločne vytvárajú rámec pre praktické využitie modelu PCBRISKMAN.

Výstup D2.1 – Správa o analýze vybraných metód a postupov vytvoril základný metodický prehľad dostupných prístupov k meraniu PCB v jednotlivých environmentálnych zložkách. Správa sa zaoberala meracím reťazcom pre vodu, sedimenty, pôdu a ovzdušie a poukázala na význam správneho odberu vzoriek, predkoncentrácie, extrakcie, čistenia extraktov a chromatografického stanovenia PCB. Osobitne bolo zdôraznené, že letecký monitoring PCB nepredstavuje priame diaľkové snímanie koncentrácií PCB, ale kombináciu odberu vzoriek, laboratórnej analýzy a priestorovej interpretácie výsledkov.

Výstup D2.2 – Správa o zbere a správe údajov rozpracoval požiadavky na získavanie, evidenciu a správu údajov potrebných pre modelovanie rizík. Boli identifikované požiadavky na záznam lokalizácie odberu, času odberu, objemu vzorkovaného vzduchu, meteorologických podmienok, použitého odberového média, laboratórnych výsledkov a neistoty merania. Výstup vytvoril základ pre jednotnú dátovú štruktúru využiteľnú v GIS databáze a v modeli rizika.

Výstup D2.3 – Správa o modelovaní a charakterizácii vytvoril modelový rámec posúdenia rizík POPs/PCB. Model vychádza z konceptu zdroj – transportná cesta – receptor a umožňuje analyzovať a hodnotiť riziko ako kombináciu pravdepodobnosti ohrozenia a závažnosti dôsledkov. Súčasťou modelu sú parametre ako základná pravdepodobnosť ohrozenia, faktor chronicity environmentálnych rezervoárov, časovo premenlivý faktor mobilizácie a dynamická pravdepodobnosť ohrozenia.

Výstup D2.4 – Správa o spracovaní údajov v kontexte GIS rozpracoval využitie geografických informačných systémov pri hodnotení POPs/PCB rizík. Výstup sa zameriaval na GIS databázu, typy priestorových, atribútových a časových údajov, priestorovú interpoláciu, analýzu povrchového odtoku, hydrogeologické modelovanie, multikriteriálnu analýzu zraniteľnosti územia a predikciu vývoja v čase. GIS prostredie bolo definované ako kľúčový nástroj pre vizualizáciu, aktualizáciu a priestorovú interpretáciu modelových výsledkov.

Výstup D2.5 – Správa o koncepcii metodiky riadenia rizík integroval predchádzajúce výsledky do návrhu prakticky využiteľnej koncepcie meracieho reťazca a metodiky riadenia rizík. Správa rozpracovala návrh mobilného, leteckého alebo UAS odberu vzoriek ovzdušia, stratégiu nalietavania, výber odberového média, spracovanie vzoriek, výpočet koncentrácií PCB, zohľadnenie meteorologických podmienok, neistotu merania a prepojenie výsledkov s GIS databázou a modelom rizika.

Na základe výstupov D2.1 až D2.5 bol vytvorený integrovaný rámec, ktorý prepája analytické meranie PCB, správu údajov, modelové posúdenie rizika, GIS spracovanie a návrh opatrení. Tento rámec predstavuje základ pre praktické overovanie monitorovania a pre podporu rozhodovania v oblasti riadenia POPs/PCB rizík.

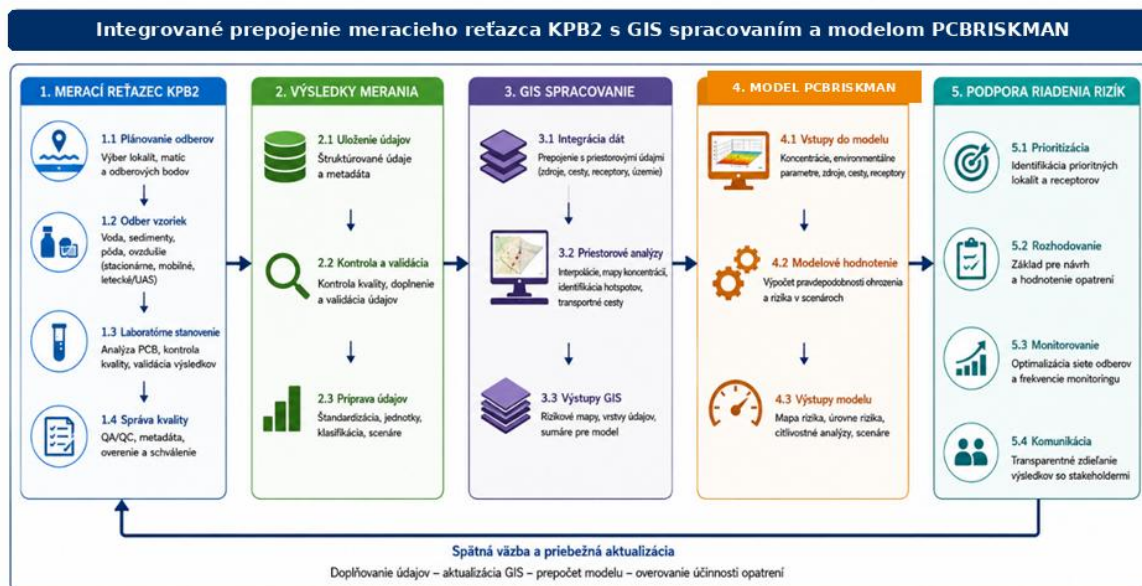
3.1 Prehľad splnenia výstupov KPB2

Prehľad splnenia čiastkových výstupov KPB2 je uvedený v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 1 Zhrnutie čiastkových výstupov KPB2 a ich výsledkov

Úloha / výstup	Hlavné zameranie	Dosiahnutý výsledok
D2.1	Analýza vybraných metód a postupov	Spracovaný metodický prehľad merania PCB vo vode, sedimentoch, pôde a ovzduší; navrhnutý merací reťazec a väzba na model rizika.
D2.2	Zber a správa údajov	Navrhnutý rámec pre zber, evidenciu, správu a kvalitu údajov potrebných pre modelovanie a GIS spracovanie.
D2.3	Modelovanie a charakterizácia	Vytvorený modelový rámec PCBRISKMAN založený na dynamickom hodnotení zdrojov, transportných ciest a receptorov.
D2.4	Spracovanie údajov v kontexte GIS	Navrhnutý GIS rámec pre integráciu priestorových, atribútových a časových údajov, modelovanie šírenia a hodnotenie zraniteľnosti územia.
D2.5	Koncepcia metodiky riadenia rizík	Spracovaný návrh praktického meracieho reťazca, stratégie odberu, väzby na GIS a model rizika a metodiky riadenia PCB rizík.
D2.6	Verejná správa o výsledkoch KPB2	Zhrnutie hlavných výsledkov, prínosov a perspektív ďalšieho riešenia pracovného balíka KPB2.

Prehľad potvrdzuje, že výstupy KPB2 vytvorili nadväzný systém poznatkov od analýzy metód merania, cez správu a modelovanie údajov, až po GIS spracovanie a návrh metodiky riadenia rizík.



Obr. 1 Integrované prepojenie meracieho reťazca KPB2 s GIS spracovaním a modelom PCBRISKMAN

4. Prínos pracovného balíka

Pracovný balík KPB2 predstavuje významný prínos pre rozvoj metodiky posúdenia a riadenia rizík spojených s PCB, pretože prepája merané údaje, priestorové informácie, modelové výpočty a rozhodovacie procesy. Navrhnutý prístup umožňuje hodnotiť riziko ako dynamický jav, ktorý sa mení v závislosti od vlastností zdroja, transportných ciest, environmentálnych podmienok a zraniteľnosti receptorov.

Významným prínosom je aj začlenenie ovzdušia ako potenciálnej transportnej cesty PCB. Navrhnutý prístup k mobilnému, leteckému alebo UAS odberu vzoriek ovzdušia umožňuje doplniť stacionárny monitoring a overiť hypotézy o vzdušnom transporte PCB. Súčasne bol metodicky zdôraznený rozdiel medzi odberovo-analytickým prístupom a priamym diaľkovým snímaním, čím sa zvyšuje odborná presnosť a transparentnosť navrhovaného riešenia.

Výsledky KPB2 podporujú rozhodovanie verejnej správy, odborných pracovísk a regionálnych aktérov pri plánovaní monitoringu, identifikácii prioritných lokalít, aktualizácii rizikových máp a návrhu opatrení na znižovanie environmentálnych a zdravotných rizík.

Z hľadiska ďalšieho rozvoja predstavuje KPB2 aj základ pre digitálnu environmentálnu inováciu, ktorá môže byť rozvíjaná smerom k platforme využívajúcej GIS, Digital Twin, AI a rozhodovacie algoritmy na podporu riadenia environmentálnych rizík.

5. Súlad s politikami a strategickými prioritami

Výsledky pracovného balíka KPB2 sú v súlade so strategickými prioritami Slovenskej republiky a Európskej únie v oblasti ochrany životného prostredia, znižovania environmentálnych záťaží, digitálnej transformácie a podpory prechodu na klimaticky neutrálnu a obehovú ekonomiku. Navrhnutý model PCBRISKMAN prispieva k cieľom Európskej zelenej dohody, Akčného plánu EÚ pre nulové znečistenie, Štokholmského dohovoru o perzistentných organických polutantoch a k širším iniciatívam zameraným na digitálnu podporu environmentálneho manažmentu.

Výstupy KPB2 sú osobitne relevantné v kontexte Akčného plánu EÚ pre nulové znečistenie, ktorý zdôrazňuje potrebu prevencie, nápravy, monitorovania a reportovania znečistenia vôd, ovzdušia a pôd. Pracovný balík vytvára metodický a dátový základ pre systematické monitorovanie PCB, hodnotenie transportných ciest, aktualizáciu rizikových máp a podporu rozhodovania o opatreniach na znižovanie environmentálnych a zdravotných rizík.

Projekt zároveň vytvára predpoklady pre ďalšie využitie pokročilých digitálnych technológií podporovaných v rámci Platformy STEP, najmä v oblastiach čistých technológií, digitálnych technológií a dátovo orientovaných riešení. Integrovaný prístup prepájajúci environmentálne meranie, GIS databázy, modelovanie šírenia kontaminácie, digitálne dvojčatá, umelú inteligenciu a rozhodovacie nástroje môže tvoriť základ pre inteligentné riadenie environmentálnych rizík a obnovu kontaminovaných území.

Výsledky KPB2 podporujú vývoj dátovo orientovaných riešení umožňujúcich efektívnejšie plánovanie monitoringu, prioritizáciu lokalít, hodnotenie účinnosti opatrení a znižovanie environmentálnej stopy priemyselných činností. Tým projekt prispieva k transformácii tradičných prístupov k environmentálnemu manažmentu smerom k digitálnym, udržateľným a nízkouhlíkovým riešeniam.

Z pohľadu ďalšieho rozvoja predstavuje KPB2 základ pre budovanie inteligentnej platformy RISKMAN založenej na princípoch Digital Twin a AI-driven Decision Support System. Takáto platforma môže byť využiteľná nielen pri riešení historických environmentálnych záťaží PCB, ale aj pri hodnotení širšieho spektra environmentálnych a priemyselných rizík súvisiacich s transformáciou smerom k čistejšiemu a udržateľnejšiemu hospodárstvu.

6. Spoločenský a environmentálny prínos

Spoločenský prínos pracovného balíka KPB2 spočíva predovšetkým vo vytvorení transparentnejšieho a systematickejšieho rámca pre rozhodovanie o environmentálnych rizikách PCB. Historická kontaminácia PCB ovplyvňuje nielen kvalitu životného prostredia, ale aj zdravie obyvateľstva, potravinový reťazec, využívanie krajiny, vodné hospodárstvo, rekreáciu a celkový rozvoj dotknutých regiónov.

Navrhnutý rámec umožňuje lepšie plánovať monitorovanie, overovať transportné cesty a identifikovať lokality, kde môže dochádzať k dlhodobej alebo opakovanej expozícii populácie a ekosystémov. Vďaka prepojeniu s GIS nástrojmi možno výsledky lepšie vizualizovať, interpretovať a komunikovať voči verejnej správe a ďalším zainteresovaným subjektom.

Environmentálny prínos spočíva v lepšom pochopení správania PCB v jednotlivých zložkách životného prostredia a v možnosti hodnotiť riziko ako priestorovo a časovo premenlivý jav. Osobitne dôležité je prepojenie kontaminovaných sedimentov, pôdy, vody, ovzdušia a bioty, ako aj identifikácia podmienok, ktoré môžu podporovať sekundárnu mobilizáciu PCB.

Výsledky pracovného balíka môžu prispieť k ochrane zdravia obyvateľstva, znižovaniu environmentálnych rizík, obnove kontaminovaných území a k posilneniu dôvery v rozhodovanie založené na vedeckých dôkazoch.

7. Perspektívy ďalšieho riešenia

Ďalšie riešenie projektu by malo smerovať k transformácii systému POPs_RISKMANbase, ktorého modelovým jadrom je PCBRISKMAN, na inteligentnú digitálnu platformu pre riadenie environmentálnych rizík podporovaných technológiami Digital Twin, GIS, AI a pokročilou analýzou dát. Tento smer nadväzuje na výsledky KPB2, ktoré vytvorili metodický, dátový a modelový základ pre monitorovanie, spracovanie údajov, priestorovú interpretáciu a rozhodovanie o rizikách PCB.

Prioritou bude realizácia pilotných monitorovacích kampaní, overovanie a spresňovanie modelov šírenia kontaminácie a vytvorenie digitálneho dvojčata vybraných kontaminovaných lokalít. Digitálne dvojča by umožnilo prepájať reálne merané údaje, GIS vrstvy, meteorologické podmienky, modelové parametre a scenáre vývoja rizika v priestore a čase. Takýto prístup môže podporiť simuláciu správania PCB a ďalších perzistentných polutantov, hodnotenie účinnosti navrhovaných opatrení a optimalizáciu monitoringu alebo sanácie z hľadiska environmentálnych aj ekonomických kritérií.

Významnou perspektívou je integrácia metód umelej inteligencie a strojového učenia na predikciu migrácie kontaminantov, identifikáciu rizikových scenárov, spracovanie neistoty merania a podporu rozhodovania verejnej správy. AI-driven Decision Support System by mohol využívať dáta z monitoringu, laboratórnych analýz, meteorologických záznamov, GIS vrstiev a modelových výpočtov na priebežnú aktualizáciu rizikových máp a návrh priorít ďalšieho postupu.

Vytvorená platforma môže predstavovať základ pre regionálny alebo nadnárodný systém riadenia environmentálnych rizík využiteľný pri riešení environmentálnych záťaží, hodnotení transportných ciest kontaminácie a podpore obnovy zaťažených území. Takýto prístup je využiteľný aj v širšom kontexte dunajského regiónu a európskych iniciatív zameraných na čisté technológie, digitálnu transformáciu, nulové znečistenie a obnovu environmentálne zaťažených území.

Výsledky projektu vytvárajú predpoklady pre budúce zapojenie do aktivít Platformy STEP, programov Horizon Europe, Interreg Danube Region Programme a ďalších európskych schém podporujúcich čisté technológie, priemyselnú dekarbonizáciu, digitálnu transformáciu a udržateľné environmentálne inovácie.

Záver

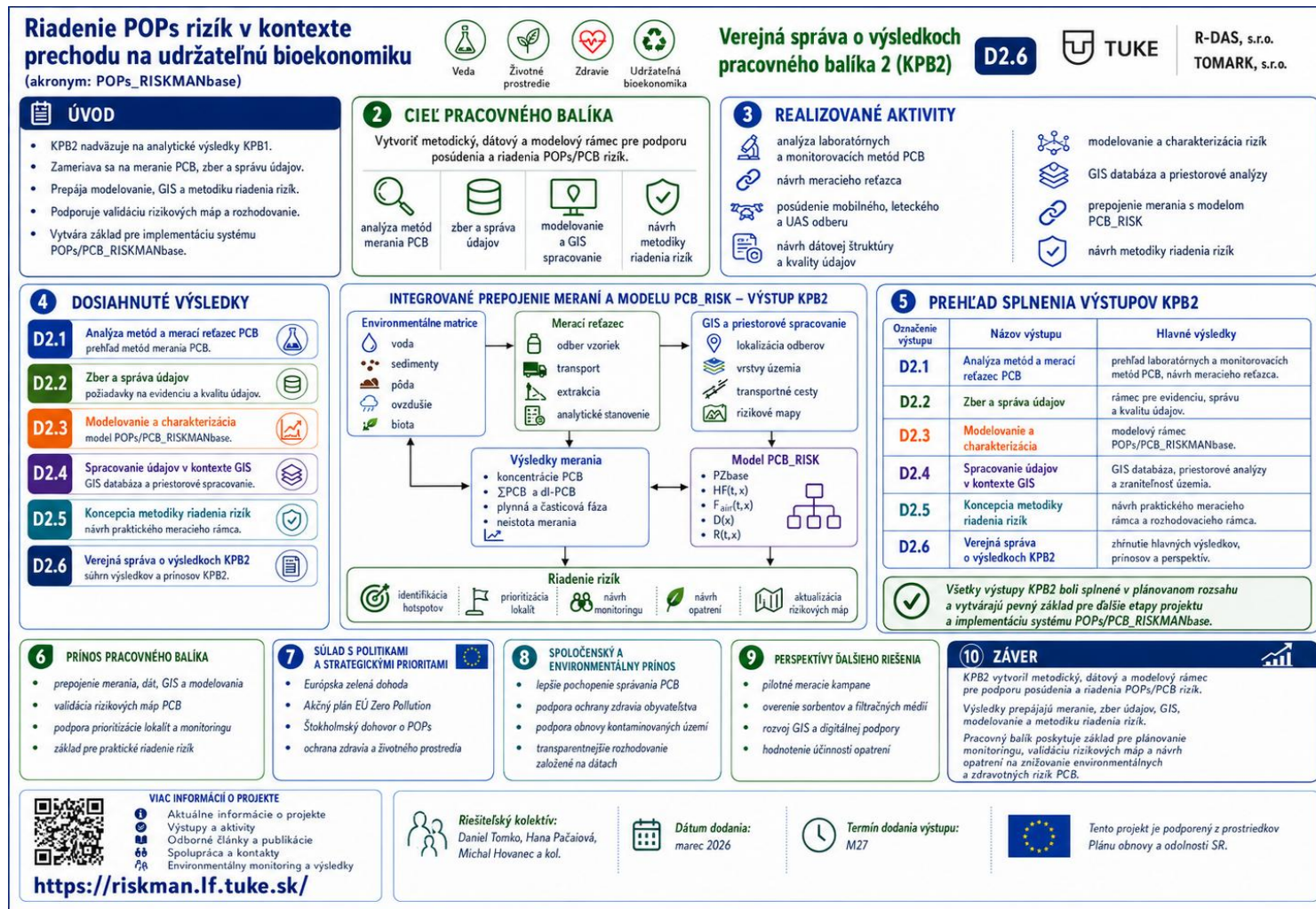
Pracovný balík KPB2 úspešne splnil svoju úlohu vytvorením metodického, dátového a modelového rámca pre integrované riadenie environmentálnych rizík spojených s perzistentnými organickými polutantmi. Výstupy D2.1 až D2.5 vytvorili prepojený systém zahŕňajúci analýzu metód merania PCB, návrh meracieho reťazca, správu údajov, GIS analýzu, modelovanie šírenia kontaminácie a podporu rozhodovania o rizikách.

Výsledky potvrdili potrebu hodnotiť PCB a ďalšie POPs ako dynamický environmentálny problém ovplyvňovaný zdrojmi kontaminácie, transportnými cestami, meteorologickými a hydrologickými podmienkami, vlastnosťami územia a zraniteľnosťou receptorov. Navrhnutý rámec preto predstavuje významný krok smerom k vytvoreniu inteligentného systému environmentálneho risk manažmentu založeného na meraných údajoch, modelovaní, GIS spracovaní a digitálnych technológiách.

Projekt zároveň vytvára odborné a technologické predpoklady pre ďalší rozvoj riešení v súlade s prioritami Platformy STEP v oblasti čistých technológií, digitálnych technológií a udržateľnej priemyselnej transformácie. Integrácia monitoringu, GIS, digitálnych dvojčiat, umelej inteligencie a rozhodovacích nástrojov predstavuje perspektívny smer rozvoja moderného environmentálneho manažmentu podporujúceho obnovu kontaminovaných území, ochranu zdravia obyvateľstva a udržateľnú transformáciu priemyslu.

PCBRISKMAN tak predstavuje nielen modelový rámec hodnotenia PCB rizík, ale aj základ budúcej digitálnej platformy pre inteligentné riadenie environmentálnych záťaží, podporu čistých technológií a implementáciu princípov Zero Pollution, Green Deal a Green Transition v podmienkach Slovenskej republiky a Európskej únie.

Príloha: Verejná infografika k výsledkom KPB2



Obr. 2 Zhnutie výsledkov pracovného balíka KPB2 – merací reťazec, GIS spracovanie a model PCB_RISKMAN